

# SIMULASI CFD GASIFIKASI PADA TWO STAGE GASIFIER TIPE VENTURI KLASIK DENGAN BAHAN BAKU TANDAN KOSONG SAWIT

Mitrodono H L Gaol<sup>[1]</sup>, Romy<sup>[2]</sup>, Zulfansyah<sup>[3]</sup>

Laboratorium, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widia Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

Mitromarbus5@gmail.com, romy\_pku@yahoo.com, zulfansyah@unri.ac.id

## Abstract

*Biomass gasification is a very complex thermo chemical process which involves the reaction of a chemical reaction. The purpose of this study was to determine the reactor dimensions as a reference in making a gasifier made from empty fruit bunches by obtain optimum working conditions and simulate  $CH_4$ ,  $CO$ , dan  $H_2$  products in the reactor by varying the amount and position of air entering the reactor. This research utilized software GAMBIT 2.4.6 for meshing and boundary identification and FLUENT 6.3.26 for simulation. Mass flow rate of feed empty fruit bunches waste in the simulation was 10 kg/jam with variations of air equivalence ratio ie 0.2, 0.25, 0.3 and the number of nozzles 2,3 and 4. From the simulations results, the highest combustible gas was obtained when the variable of ER value = 0.3 and number of nozzle 2 ie  $CO = 18.53\%$ ,  $H_2 = 0.9\%$  and  $CH_4 = 0.0365\%$  with  $HHV = 24.85\text{ kJ/Nm}^3$ .*

**Keywords :** Empty Palm Bunches, Gasification, CFD, FLUENT

## 1. Pendahuluan

Dalam rangka mewujudkan konsumsi energi per kapita sebesar 10 Setara Barel Minyak (SBM) dan rasio elektrifikasi 95% pada tahun 2025 (Kementerian ESDM, 2006), maka pemerintah melalui Kementerian ESDM menetapkan kebijakan dan strategi dalam rangka memenuhi kebutuhan energi nasional. Target ini tidak didukung dengan potensi minyak bumi yang diperkirakan pada tahun 2020 Indonesia akan mengimpor minyak mentah sebesar 1 milyar SBM (Kemenristek, 2005) untuk memenuhi kebutuhan energi nasional jika tidak ditemukan ladang minyak baru. Hal ini mengakibatkan pemerintah harus membuat strategi yang dapat dilakukan dalam membantu pemenuhan kebutuhan energi nasional diantaranya diversifikasi dan memaksimalkan potensi energi terbarukan lokal sebagai sumber energi.

Salah satu sumber energi terbarukan lokal yang sangat berlimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal adalah Tandan Kosong Sawit (TKS). TKS adalah limbah dari pengolahan kelapa sawit, umumnya digunakan sebagai bahan bakar boiler dalam jumlah yang sedikit dan sebagian besar dimanfaatkan sebagai bahan pupuk organik dilahan perkebunan yang proses pembusukan/pelapukannya membutuhkan waktu yang lama. Setiap ton pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) akan menghasilkan 20–23% TKS (Anwar, 2008). Berdasarkan analisa *ultimate* nilai kalor yang dikandung oleh TKS kering adalah 1.421 kkal/kg untuk LHV dan 4.584 kkal/kg untuk HHV (Wibowo, 2007).

Provinsi Riau merupakan provinsi yang memiliki luas perkebunan dan produksi TBS terbesar di Indonesia. Pada tahun 2015, Provinsi Riau memproduksi TBS sekitar 7 juta ton atau sebesar 23,04% dari produksi TBS nasional (Dirjen Perkebunan, 2016). Hal ini berarti di Provinsi Riau dapat menghasilkan sekitar 1,6 juta ton TKS (asumsi produksi TKS 21,5% dari produksi TBS) atau setara dengan potensi sumber energi sebesar

9.869.944.319.533,48 kJ/th atau 9.869,9 TWth. Sebagai perbandingan kebutuhan energi nasional adalah sebesar 304 GWth pada tahun 2020 (Kemenristek, 2005). Potensi energi ini tentu memerlukan metode yang tepat untuk mengkonversikan potensi energi menjadi energi yang berguna secara maksimal.

Salah satu metode konversi biomassa menjadi energi adalah gasifikasi biomassa. Gasifikasi biomassa memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode konversi energi lain dikarenakan energi yang dihasilkan lebih tinggi dengan polutan yang lebih rendah, sebagai perbandingan untuk boiler hanya memiliki konversi energi mencapai 25% (Andi, 2008). Namun, permasalahan utama pada *gasifier* adalah gas yang dihasilkan (singas) mengandung tar yang jika diaplikasikan pada *gas engine* akan mengakibatkan *fouling* dan *scale* akibat terkondensasinya tar pada temperatur rendah di saluran dan ruang bakar, sehingga akan mengakibatkan kerusakan atau tidak optimalnya kinerja *gas engine*. Permasalahan lain terkait dengan penggunaan TKS sebagai bahan baku gasifikasi adalah tingginya kandungan air di dalam TKS yaitu 45 – 60% (Lahijani dan Zainal, 2011). Bentuk dari TKS juga menjadi permasalahan tersendiri karena di dalam reaktor akan mengakibatkan adanya ruang kosong diantara TKS.

Salah satu bentuk *gasifier* yang cocok untuk mengatasi kandungan tar dan kandungan air yang tinggi pada TKS adalah *two stage gasifier*. Tipe ini diyakini memiliki efisiensi yang tinggi (92-97%) dengan kadar tar pada *syngas* < 25 mg/Nm<sup>3</sup> (Bentzen dkk, 2000). Namun di dalam operasionalnya, tipe ini memiliki temperatur yang sangat tinggi di bagian atas reaktornya yang mencapai 1270°C (Henriksen dkk, 2003), daerah ini adalah daerah kosong yang berada diantara daerah proses pirolisa dan oksidasi parsial (pembakaran sebagian). Proses pirolisa berada pada temperatur 380 – 530°C dan proses pembakaran

(oksidasi) berada pada temperatur 700–1400°C (Basu, 2010). Temperatur yang tinggi di atas daerah oksidasi parsial ini dikhawatirkan akan mengakibatkan terbentuknya *syngas* sebelum waktunya. Temperatur dan jumlah udara yang tidak tepat dapat mengakibatkan terbentuknya tar dan tidak tercapainya pembakaran sebahagian (untuk menghasilkan gas CO), sehingga perlu kajian untuk mengetahui temperatur dan jumlah udara atau gas yang terbentuk pada setiap bagian dari reaktor.

Usaha-usaha untuk memodifikasi *gasifier* perlu dilakukan untuk mengurangi kandungan tar pada *syngas*. Tahapan dalam memodifikasi *gasifier* dapat dimulai dengan melakukan simulasi sehingga dapat dilakukan berbagai variasi untuk mendapatkan kondisi yang optimum. Penelitian ini fokus kepada simulasi untuk memodifikasi bentuk ruang bakar reaktor *two stage gasifier*, khususnya penerapan prinsip venturi. Sehingga diharapkan distribusi temperatur dapat dikontrol dalam proses gasifikasi. Geometri dan *mesh* yang tepat menggunakan GAMBIT sedangkan untuk *solver* dan *post-processor* menggunakan *software* CFD FLUENT.

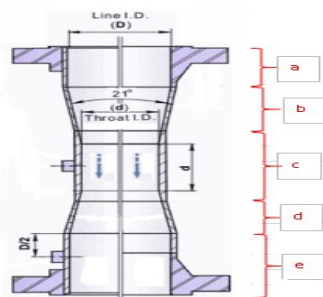
## 2. Metodologi

### Karakteristik bahan umpan

Hasil analisa *ultimate* dan *proximate* limbah TKS yang telah dikeringkan selama 2 hari pada temperatur 28-30°C dinyatakan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

### Penentuan ukuran *gasifier*

Mendefinisikan geometri model merupakan Salah satu proses dalam tahap awal (*pre-processor*) simulasi FLUENT. Dalam hal ini yang salah satu yang terutama adalah geometri *throat* pada *two stage gasifier*. Adapun yang dicari adalah seperti diameter *throat* (d), diameter sisi sebelum konvergen atau setelah divergen (D), panjang sisi sebelum konvergen atau setelah divergen (a) sudut konvergen yang digunakan pada venturi klasik ( $\alpha$ ), panjang *throat* (c) panjang vertikal daerah kovergen (b), sudut divergennya (d) dan diameter nozel (persamaan yang sama dengan mencari diameter *throat*), persamaan yang digunakan untuk mencari geometri tersebut terdapat pada persamaan 1-6. Pada penelitian ini laju aliran massa biomassa yang digunakan adalah 10kg/jam. Dimensi *gasifier* yang harus dicari ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Dimensi *Gasifier* yang Dicari

Analisis *proximate* dan analisis *ultimate* pada tandan kosong sawit ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 *proximate Analysis*

<i>Proximate Analysis</i>	(wt.%)
Moisture	7,8
Volatiles	79,34
Ash	4,5
Fixed Carbon	8,36
HHV, MJ/kg (dry basis)	15,22

Tabel 2 *Ultimate Analysis*

<i>Ultimate Analysis</i>	(wt.%)
Carbon	43,52
Hydrogen	5,72
Nitrogen	1,20
Sulfur	0,66
Oxygen (diff.)	48,90
Stoichiometric air/fuel ratio (kg/kg)	4,84

$$d = \sqrt{\frac{4V_{298K}}{\pi.SV}} \quad (1)$$

$$D = 2 \times d \quad (2)$$

$$a = D \quad (3)$$

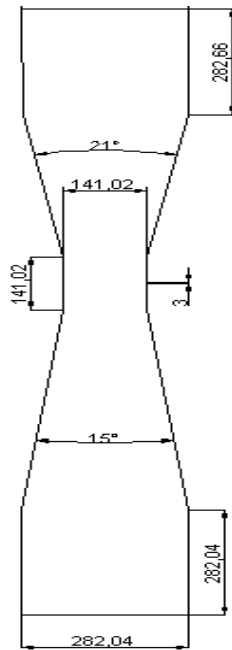
$$\alpha = 21 \pm 1^\circ \quad (4)$$

$$b = ((D-d)/2) / \tan(21/2)^\circ \quad (5)$$

$$d = ((D-d)/2) / \tan(15/2)^\circ \quad (6)$$

Berdasarkan perhitungan dari persamaan 1-6 diatas, maka d yang diperoleh adalah 141,02 mm, D = 282,04 mm, a = 282,04 mm,  $\alpha = 21^\circ$ , b = 380,44 m, d = 535,58mm. Sedangkan untuk letak *throat* dari reaktor adalah 884,14 mm dari dasar reaktor dan diameter nozel sebagai *inlet* udara media oksidasi adalah 3mm, sedangkan untuk diameter *inlet* biomassa dan diameter *outlet* gas masing-masing adalah 50,8 mm dan 25,4 mm.

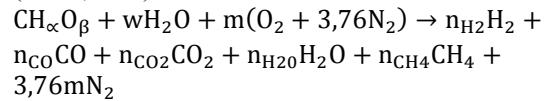
Adapun perbandingan jumlah bahan bakar dengan udara sebagai media oksidasi dalam proses gasifikasi disebut dengan *Equivalent Ratio* (ER). Proses gasifikasi merupakan pembakaran tidak sempurna. Oleh karena itu untuk mencegah terjadinya pembakaran sempurna maka jumlah media oksidasi (udara) harus dapat dikendalikan. Dalam penelitian ini variasi ER yang digunakan adalah 0,2, 0,25 dan 0,3 untuk laju aliran biomassa tetap yaitu 0,002653 kg/s atau setara dengan 1kg/jam. Setelah melakukan perhitungan maka dimensi diperoleh seperti ditunjukkan pada Gambar 2



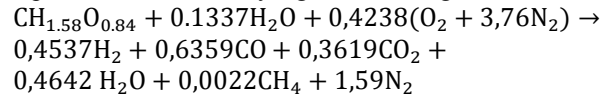
Gambar 2. Dimensi yang Diperoleh

### Model Reaksi Proses Gasifikasi

Reaksi gasifikasi menyeluruh *volatile matters* dituliskan dalam bentuk persamaan reaksi kimia (Costa,2014).



Dengan mencari nilai koefisien-koefisien dari setiap fraksi massa melalui persamaan maupun iterasi, maka diperoleh reaksi kimia yang adalah sebagai berikut:



### Model Komputasi

Simulasi numerik dalam penelitian ini merupakan pendekatan 3 dimensi (3D) menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6 untuk pembuatan geometri, *boundary condition*, dan untuk proses *meshing* dalam bentuk elemen *tet/hybrid* dengan jumlah elemen 3459016. Sedangkan untuk *solver* dan *post processor* digunakan *software* FLUENT6.3.26 dengan model komputasi seperti pada Tabel 3

Tabel 3 Proses Komputasi FLUENT

	<b>Model</b>	<b>Settings</b>	<b>Information</b>	
<b>Models Setting</b>	<i>formulation</i>	<i>Implicit</i>	-	
	<i>Space</i>	<i>3D</i>	-	
	<i>Time</i>	<i>steady</i>	-	
	<i>Porous Formulation</i>	<i>Superficial Velocity</i>	0,4 Nm/s	
	<i>Viscous</i>	<i>k-epsilon standard model</i>	<i>Turbulent Intensity Biomass 6,22 %</i>	
			ER	Jumlah Intensitas Nozel Turbulensi Udara (%)
			0,20	2 5,845
				3 6,149
				4 6,374
			0,25	2 5,684
			3 5,979	
	4 6,198			
	0,30	2 5,556		
		3 5,845		
		4 6,059		
	<i>Near-Wall Treatment</i>	<i>Standard Wall Function</i>	-	
	<i>Heat transfer</i>	<i>Enabled</i>	-	
	<i>Radiation</i>	<i>Radiation Model</i>	P1	
<b>Boundary Condition</b>	<b>Name</b>	<b>Type</b>	<b>Information</b>	
	<i>Fluid</i>	<i>Fluid</i>	<i>Air (21% O<sub>2</sub>)</i>	
	<i>Inlet-air</i>	<i>Mass-Flow-Inlet</i>	ER (kg/s)	
			0,20 0,002405	
			0,25 0,003006	
<i>Inlet-Pyrolisys</i>	<i>Mass-flow-inlet</i>	0,002653 kg/s		
<i>Outlet-Syngas</i>	<i>Outflow</i>	-		
<b>Solvers</b>	<b>Variable</b>	<b>Discretization Scheme</b>	<b>Information</b>	
	<i>Pressure</i>	<i>Standard</i>	-	
	<i>Momentum</i>	<i>First Order Upwind</i>	-	
	<i>Turbulent Kinetic Energy</i>	<i>First Order Upwind</i>	-	
	<i>Energy</i>	<i>First Order Upwind</i>	-	

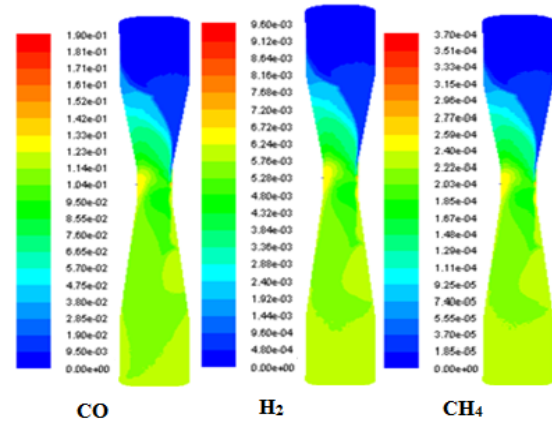
### Penentuan Kinerja Proses Gasifikasi

Untuk mengetahui kinerja proses gasifikasi dilakukan berdasarkan besarnya fraksi massa (%) *combustible gas* (CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>) yang diperoleh dari hasil simulasi. Fraksi massa *combustible gas* tersebut kemudian digunakan untuk menghitung besarnya HHV (*Hinger Heating Value*) yaitu dengan persamaan :

$$\text{HHV} = (0,946\% \times 0,03052 + 18,53\% \times 0,03018 + 0,034\% \times 0,095) \times 4,2 \text{ (MJ/Nm}^3\text{)}$$

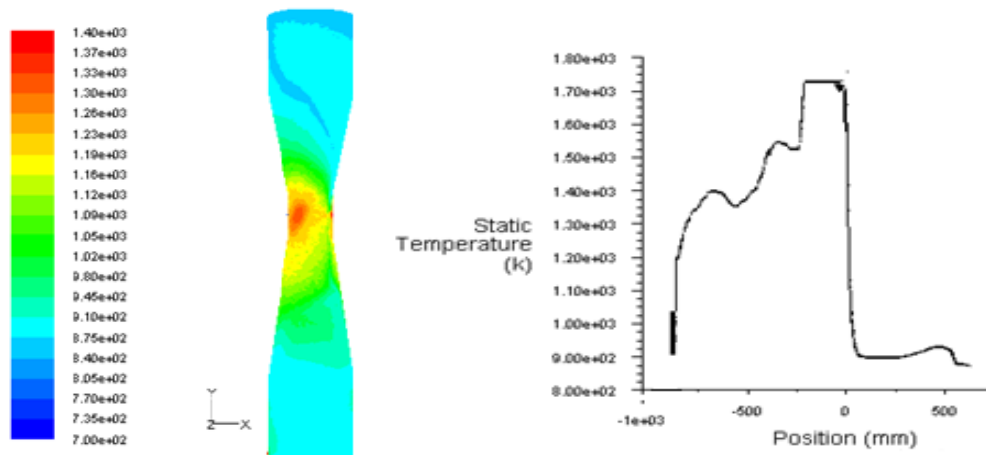
### 3. Hasil

Setelah dilakukan simulasi pada FLUENT maka hasil terbaik yang diperoleh adalah pada kondisi dimana *Gasifier* menggunakan 2 nozel dengan ER 0,3. Hasil simulasi menunjukkan *combustible gas* yang paling banyak terbentuk adalah karbon monoksida (CO) diikuti dengan hidrogen (H<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>) dengan masing-masing nilai adalah 19%, 0,96 % dan 0,036%. Kontur dari masing-masing fraksi *combustible gas* ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3 Kontur Fraksi Massa *combustible gas*

Sedangkan kontur temperatur dimana diperoleh temperatur tertinggi adalah 1400 K dan grafik temperatur disepanjang *gasifier* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4 Kontur dan Grafik Temperatur

### 4. Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan FLUENT, diperoleh beberapa kontur yang dibutuhkan sebagai data hasil penelitian. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan kontur dari produk simulasi gasifikasi dan juga kontur dari temperatur pembakaran gasifikasi. Distribusi tersebut diatas mewakili proses termo kimia yang terjadi di *gasifier*. Dari Gambar 4 tersebut bisa dilihat fenomena pada *throat* dimana temperatur mencapai sekitar 1400 K yang terlihat jauh lebih tinggi dibanding zona lain. Pada posisi *throat* terdapat konsentrasi oksigen (O<sub>2</sub>) paling banyak dan merupakan zona *oxidation*, melalui nozel dialirkan udara dengan kecepatan udara yang sudah diatur

sesuai kebutuhan yaitu minimal dengan kecepatan 34 m/s. Dari warna kontur bisa kita lihat bahwa produk pembakaran terbentuk tepat di *throat* dimana terjadi pembakaran parsial, disamping itu kita juga bisa melihat bawasannya gas hasil produk gasifikasi tidak semua langsung turun kebawah, namun sebagian lagi naik keatas bahkan jika kita perhatikan kontur simulasi gasifikasi dengan ER 0,25 pada *gasifier* 3 nozel itu menunjukkan produk hasil gasifikasi naik ketas mencapai dinding atas *gasifier*. Hal ini sebenarnya menjadikan hasil gasifikasi kurang maksimal, karena produk pembakaran yang sudah dihasilkan kembali mengalami proses sehingga energinya tidak bisa dimanfaatkan lagi. Selain gas produk tidak bisa

dimanfaatkan lagi, akan dihasilkan temperatur yang sangat tinggi juga di dinding atas *gasifier* karena produk hasil gasifikasi yang naik keatas mengandung temperatur yang sangat tinggi juga, ini bisa menjadi masalah karena bisa mengakibatkan pembakaran yang terlalu cepat sebelum mencapai *throat*. Fenomena ini akan buruk karena akan merusak hasil gasifikasi dan mengakibatkan produk bahan bakarnya akan kecil.

*combustible gas* yang paling banyak terbentuk adalah karbon monoksida (CO) dengan urutan selanjutnya yaitu H<sub>2</sub> dan diikuti dengan CH<sub>4</sub>. Hasil dari gasifikasi ini menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan tidak ada yang mencapai 100 %, hal ini diakibatkan karena karbon biomassa dari tandan kosong sawit tidak sepenuhnya mengalami gasifikasi, hasilnya sebagian produk masih dalam bentuk senyawa karbon. Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara ER terhadap fraksi massa pada 2 nozel. Nilai gas produk CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> mengalami kenaikan untuk setiap kenaikan ER nya, hal ini menunjukkan bahwa pada *gasifier* 2 nozel nilai tertinggi terjadi saat variabel ER = 0,3. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara ER terhadap fraksi massa pada *gasifier* 3 nozel, nilai fraksi massa tertinggi terjadi pada saat ER = 0,25. Hal lain terjadi pada *gasifier* 4 nozel dimana peningkatan nilai ER tidak serta merta meningkatkan produksi *combustible gas*, nilai *combustible gas* tertinggi terjadi pada nilai ER = 0,2

*Combustible gas* tertinggi yang dihasilkan terjadi pada *gasifier* 2 nozel, ini terjadi pada variasi ER = 0,2, 0,25 dan 0,3.

Nilai HHV (*High Heating Value*) yang tertinggi diperoleh pada saat ER 0,3 dengan *gasifier* 2 nozel yang mana produk yang terbentuk berdasarkan reaksi gasifikasi hanya 83,1 %, nilai HHV-nya adalah sebagai berikut:

$$HHV = (H_2\% \times 0,03052 + CO\% \times 0,03018 + CH_4\% \times 0,095) \times 4,2 \text{ (MJ/Nm}^3\text{)}$$

Sebagai contoh pada saat ER 0,3 dengan *gasifier* 2 nozel

$$HHV = (0,946\% \times 0,03052 + 18,53\% \times 0,03018 + 0,034\% \times 0,095) \times 4,2 \text{ (MJ/Nm}^3\text{)}$$

Sehingga diperoleh nilai setiap HHV dengan ER 0,3 dan jumlah nozel yang divariasikan seperti ditunjukkan pada Tabel 4

Tabel 4 Nilai *High Heating Value* Untuk ER 0,3 dengan Jumlah Nozel yang Divariasikan

NOZEL	2	3	4
H <sub>2</sub>	0,00946	0,00866	0,00887
CO	0,1853	0,1698	0,168
CH <sub>4</sub>	0,000365	0,0003345	0,0003307
HHV	0,0248461	0,0227667	0,0225639

## 5. Kesimpulan dan saran

Setelah dilakukan simulasi CFD proses gasifikasi Tandan Kosong Sawit dengan laju aliran massa 10 kg/jam dengan *Equivalent Ratio* 0,2, 0,25 dan 0,3 serta dengan 2,3 dan 4 nozel di dalam *gasifier* dengan tipe *two stage type ventury clasic* diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Dimensi *gasifier* yang dihasilkan berdasarkan perhitungan reaksi pembakaran adalah sebagai berikut:

- Diameter *throat* (d) = 141,02 mm
- Diameter sisi sebelum konvergen (D) = 282,04 mm
- Sudut konvergen ( $\alpha$ ) = 21<sup>0</sup>
- Panjang vertikal daerah konvergen (b) = 380,44
- Panjang *throat* (c) = 141,02mm
- Panjang vertikal daerah sudut divergen (d) = 535,58

Dari simulasi gasifikasi Tandan Kosong Sawit diperoleh produk gas tertinggi pada ER 0,25 dengan 2 nozel yaitu sebesar 84,64% dan terendah pada ER 0,2 dengan 4 nozel yaitu sebesar 79,11%. Dari simulasi diperoleh *combustible gas* (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>) tertinggi yaitu pada ER 0,3 dengan 2 Nozel dengan komposisi CO 18,53 %, H<sub>2</sub> 0,9 % dan CH<sub>4</sub> 0,0365% dan menghasilkan nilai HHV tertinggi yaitu 0,0248461 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Adapun saran dari penulis terkait penelitian ini adalah perlu penelitian lebih lanjut terutama pada rancangan *gasifier* yang bisa menghasilkan konversi biomassa menjadi produk dengan optimum yaitu 100% dengan memodifikasi terkhusus diameter nozel. Simulasi kedepannya memasukkan bentuk biomassa yang berpori sebagai aliran campuran fluida dan padatan.

## Daftar Pustaka

- Anwar, K. 2008. Optimasi Suhu dan Konsentrasi Sodium Bisulfite (NaHSO<sub>3</sub>) Pada Proses Pembuatan Sodium Lignosulfonat Berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TTKS). Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Basu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. Elsevier.
- Bentzen, J. D, Elmegaard, B, dan Henriksen, U. B. 2000. Low Tar and High Efficient Gasification Concept. *Proceedings of ECOS*. Twente, Netherlands.
- "Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025". 2006. Kementerian ESDM. Jakarta, Indonesia.
- "Buku Putih , Indonesia 2005-2025". 2005. Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia. Jakarta, Indonesia.
- Diyan, E, Wibowo, 2007., analisa kandungan nilai bakar pada bahan bakar limbah padat kelapa sawit (fiber, shell, dan campuran

keduanya) thesis, universitas muhammadiyah malang)

- Henriksen, U, Ahrenfeldt, J, Jensen, T. K, Gabel, B, Bentzen, J.D, Hindsgaul, C dan Sorensen, L.H. 2003. The Design, Construction and Operation of a 75 kW Two-Stage Gasifier. *Proceedings of ECOS*. Copenhen, Denmark.
- Lahijani, P dan Zainal, Z.A. 2011. Gasification of palm empty fruit bunch in a bubbling fluidized bed: A performance and agglomeration study. *Bioresource Technology* 102: 2068–2076.
- “Statistik Perkebunan Indonesia, 2014-2016”. 2015. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta, Indonesia.